

Janne Laukkonen

## **NR-ristikkoyläpohjan kokonaisjäykistys**

Jäykistyskuormien laskentapohja

Opinnäytetyö

Kevät 2015

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## **Opinnäytetyön tiivistelmä**

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Janne Laukkonen

Työn nimi: NR-ristikkoyläpohjan kokonaisjäykistys

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi: 2015

Sivumäärä: 49

Liitteiden lukumäärä: 1

---

Opinnäytetyö käsittelee naulalevyrakenteisilla puuristikoilla toteutetun kattorakenteen kokonaisjäykistystä. Tavoitteena oli kehittää ristikkovalmistaja Pohri Oy:n valmiuksia tarjota asiakkailleen katon jäykistyslaskelmia.

Opinnäytetyössä käytiin läpi jäykistyslaskennan kannalta oleelliset ilmiöt ja niitä koskeva laskentakaavasto. Kaavaston mukaisesti luotiin laskentapohja perinteisen symmetrisen harjakaton laskentaa varten. Tulokseksi pohjasta saadaan kuormat suunnittelua varten sekä katerakenteiden liitosten mitoitus.

Avainsanat: jäykistys, nurjahdus, ristikko, kuorma, tuenta

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Janne Laukkonen

Title of thesis: MPC roof truss total bracing

Supervisor: Petri Koistinen

Year: 2015

Number of pages: 49

Number of appendices: 1

---

The thesis deals with the total bracing of roofs built of metal-plate-connected wood trusses. The goal was to develop the capability of Pohri Oy, a roof truss manufacture, to offer their clients roof bracing calculations.

Phenomena and formulae essential to bracing calculation were covered in the thesis. A calculation template for a traditional, symmetrical ridge roof was created based on the formulae. The template calculates design loads and roofing joint calculations.

Keywords: bracing, buckling, truss, load, support

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	8
1 JOHDANTO .....	9
2 KUORMAT.....	11
2.1 Rajaus.....	11
2.2 Omapaino .....	11
2.3 Hyötykuorma.....	11
2.4 Lumikuorma .....	12
2.5 Tuulikuorma .....	13
2.5.1 Menetelmät .....	13
2.5.2 Maastoluokka.....	13
2.5.3 Nopeuspaine $q_{po}$ .....	14
2.5.4 Rakennekerroin $C_{sCd}$ .....	15
2.5.5 Voimakerroin $C_f$ .....	15
2.5.6 Kitkakerroin $C_{fr}$ .....	16
2.6 Lujuuskertoimet.....	16
2.7 Kuormakertoimet.....	17
3 JÄYKISTYSTAVAT .....	18
3.1 Vaakaristikot paarteiden välissä.....	18
3.2 Pystypukit kattoristikoiden välissä.....	18
3.3 Muita jäykistysmenetelmiä .....	20
4 RAKENNEMALLI .....	22
4.1 Runkorakenteet.....	22
4.2 Jäykistys .....	24
4.3 Muita huomioita.....	26
5 LASKENTAPERIAATTEET .....	27
5.1 Lähtötiedot .....	27

5.2 Kattoristikko .....	28
5.3 Tuulikuorma .....	29
5.4 Lisävaakavoima .....	31
5.5 Jäykistyskuorma .....	32
5.6 Tukivoimat.....	34
5.7 Ruoteiden mitoitus .....	36
5.7.1 Tuuletusriman kiinnitys .....	36
5.7.2 Ruoteen kiinnitys .....	39
5.7.3 Ruoteen kestävyys .....	40
5.7.4 Lisäruoteet .....	43
5.7.5 Pellin kiinnitys .....	44
5.7.6 Nurjahdustuennan jousijäykkyys.....	46
6 LOPPUSANAT .....	47
LÄHTEET .....	48
LIITTEET .....	49

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Jäykistysesimerkki.....	9
Kuvio 1. Lumikuormakartta .....	12
Kuvio 2. Maastoluokka.....	14
Kuvio 3. Tuulen nopeuspaine korkeuden ja maastoluokan suhteen .....	15
Kuvio 4. Työmaalla tehty jäykisteristikko.....	18
Kuvio 5. Pystypukit.....	19
Kuvio 6. Pukkijäykistys.....	20
Kuvio 7. Pohjakuva. ....	22
Kuvio 8. Leikkaus A-A.....	23
Kuvio 9. Ristikön kuormat. ....	23
Kuvio 10. Leikkaus B-B.....	24
Kuvio 11. Yläpaarrejäykiste.....	24
Kuvio 12. Jäykistepukit. ....	25
Kuvio 13. Alapaarrejäykiste.....	25
Kuvio 14. Uumasauvan nurjahdustuenta. ....	26
Kuvio 15. Päädyn vaikutuspinta-alat. ....	30
Kuvio 16. Kaksiaukkoinen palkki.....	34
Kuvio 17. Kolmiaukkoinen palkki.....	41
Kuvio 18. Ruoteiden asennus. ....	44

Taulukko 1. Alkutiedot.....	27
Taulukko 2. Ristikön suunnittelukuormat. ....	28
Taulukko 3. NR-suunnitelman tiedot. ....	29
Taulukko 4. Sisäinen jäykistyskuorma. ....	32
Taulukko 5. Yksittäisen jäykisteristikön kuorma .....	34
Taulukko 6. Naulojen etäisyysvaatimukset .....	39

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Nurjahdus</b>	Puristetun poikkileikkauksen stabiliteetin menetys ennen myötörajan saavuttamista
<b>Vertikaali</b>	Ristikon pystysauva
<b>Uumasauva</b>	Ristikon sisäsauva
<b>Paarre</b>	Ristikkorakenteen ulommaiset sauvat, lukuun ottamatta reunimmaisista pystyjä, yleensä ala- ja yläpaarre
<b>Ristikkojako</b>	Ristikoiden sijoituspisteiden välinen etäisyys, ei siis vierekkäisten ristikoiden vapaa väli
<b>Jäykistys</b>	Rakennejärjestelmän stabilointi eli liikkeiden estäminen
<b>Lape</b>	Katon viisto pinta
<b>Jäykistepakka</b>	Yhden ristikkovälin jäykisteiden muodostama kokonaisuus
<b>Jäykisteyksikkö</b>	Peräkkäisten jäykistepakkojen muodostama kokonaisuus



# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö käsittelee naulalevyrakenteisen ristikkoyläpohjan kokonaisjäykistystä. Päähuomio kiinnitetään jäykistyskuormien määrittämiseen ja liitosten mitoittamiseen. Erilaiset jäykistystavat käydään läpi vain pääpiirteisesti. Lukijalla oletetaan olevan tuntemusta eurokoodien mukaisesta kuorma- ja puurakennemitoituksesta.

Pohri Oy valmistaa naulalevyrakenteisia kattoristikoita ja precut-runkoja. Tuotanto aloitettiin Evijärven kattoristikkotehtaalla jo vuonna 1986 ja laajeni Oulun Haukiputaalle 2013.



Kuva 1. Jäykistysesimerkki  
(Pohri Oy, [viitattu 5.3.2015]).

Tutkimustehtävänä luodaan Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla jäykistyslaskentapohja, jolla selvitetään ristikkokenttään kohdistuvat kuormitukset ja tuentarakenteiden kiinnitykset. Pohjana käytetään kuvan 1 mukaista rakennetta mukailevaa rakennemallia, jossa ruoteiden lisäksi ei tarvita muita laudoituksia katon jäy-

kistuksen kannalta. Ohjelma antaa myös seinien jäykistykseen liittyvät kuormitukset, mutta toistaiseksi niihin ei oteta kantaa.

Tarkastelu rajataan rakennemalliin, jossa symmetristen harjaristikoiden väliin on asennettu vaaka- ja pystyasentoon ristikkorakenteita katon jäykisteiksi. Muita ristikkotyyppejä, kuten kehä- ja saksiristikoita, varten on luotava erilainen jäykistysratkaisu ja laskentapohja.

## 2 KUORMAT

### 2.1 Rajaus

Rakenteiden kuormituksista tarkastellaan vain jäykistyslaskennan kannalta oleellisia osa-alueita. Tarkempi selostus löytyy esimerkiksi teoksista RIL 201-1-2011 ja RIL 205-1-2009.

### 2.2 Omapaino

Omapaino on pysyvien, liikkumattomien rakenneosien painon aiheuttamaa kuormaa (RIL 201-1-2011, 59). Kattoristikoiden osalta painoa kertyy yläpaarteen päällisistä vesikattorakenteista, alapaarteeseen ripustetuista eristeistä ja alakattorakenteista sekä ristikon omasta painosta.

Yläpaarteelle käytetään peltikatteelle omapainona  $0,15 \text{ kN/m}^2$ , huopakatteelle  $0,25 \text{ kN/m}^2$  ja tiilikatteelle  $0,55 \text{ kN/m}^2$ . Alapaarteelle lasketaan omapainoa  $0,3 \text{ kN/m}^2$  eristetyissä rakenteissa, ja pysyvästi kylmässä rakennuksessa  $0,1 \text{ kN/m}^2$ . Ala- ja yläpaarteen omapainot sisältävät kaikki ristikkorakenteeseen kiinnitettävät ja ripustettavat rakenteet, kuten kattoruoteet, katemateriaalin, aluskatteen, alakattorakenteet ja eristeet. Kattoristikon oma massa lisätään erikseen. Huonetilallisten kattokehien tapauksessa alapaarteelle asetetaan omapainoksi huonetilan kohdalla  $0,8 \text{ kN/m}^2$ , johon sisältyy välipohjarakenteiden lisäksi RIL 205-1-2009 (31) mukainen siirrettävien kevyiden väliseinien osuus  $0,3 \text{ kN/m}^2$ . (Pohri Oy, [viitattu 10.3.2015].)

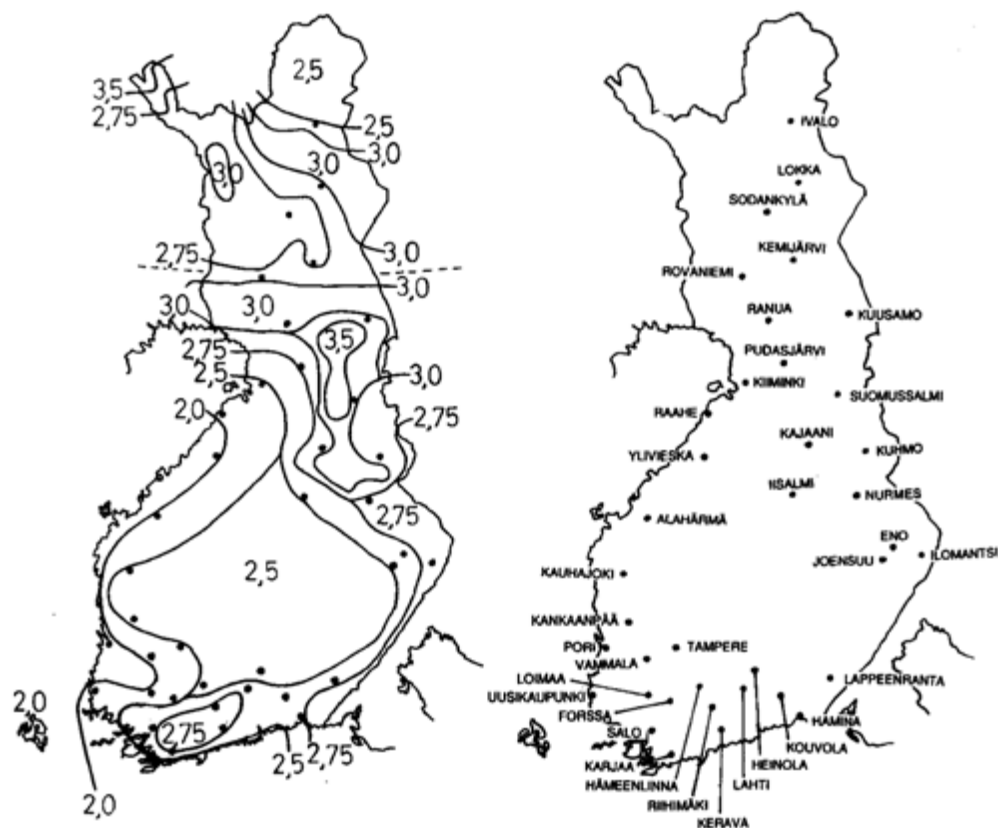
### 2.3 Hyötykuorma

Hyötykuorma on muuttuvaa liikkuvaa kuormaa, joka muodostuu tilan kalusteista, tavarantoiminnasta ja henkilöiden liikkumisesta. Käyttöuullakkoristikoihin ja kattokehiin voidaan kohdistaa luokan A hyötykuormia. (RIL 201-1-2011, 59, 64, 67.)

Laskentapohja ei tällä hetkellä huomioi hyötykuormia, koska tutkittu rakennemalli ei sovellu suoraan käytettäväksi käyttöuullakkoristikoiden ja kattokehien kanssa. Ongelmaksi muodostuu rakenteen keskellä oleva varasto- tai huonetila.

## 2.4 Lumikuorma

Lumikuorma määräytyy rakennuspaikkakunnan ja katon muotokertoimen perusteella. Paikkakuntakohtaiset lumikuormat perustuvat kuviossa 1 esitettyyn lumi-kuormakarttaan. Muotokertoimeksi oletetaan laskennassa 0,8, joka sopii kaikille katoille, joille ei kasaudu lunta toisilta katoilta tai esteitä vasten. Muotokerrointa voisi pienentää yli 30 asteen kaltevuuksilla, mutta käytännössä katolle asennettavat lumiesteet vaativat muotokertoimen arvoksi vähintään 0,8. Lisäksi lumikuor- maan vaikuttaa tuulensuojaus- ja lämpökertoimet  $C_e$  ja  $C_t$ , joille voidaan käyttää arvoa 1,0. (RIL 201-1-2011, 94–102.)



Kuvio 1. Lumikuormakartta  
(Puuinfo Oy 2010).

Listaus paikkakuntaakohtaisista lumikuormista on saatavilla esimerkiksi ohjekirjassa RIL 205-1-2009 tai Pohri Oy:n verkkosivuilla. Kuntaliitokset on syytä huomioida lumikuormaa määrittäessä, koska muodostuneen kunnan ominaislumikuorma saattaa olla pienempi kuin yhdistyneen kunnan. Oulussa asia on huomioitu muuttamalla koko uuden kaupungin alueella lumikuormaksi 2,75 kN/m<sup>2</sup>.

## **2.5 Tuulikuorma**

### **2.5.1 Menetelmät**

Tuulikuorman määrittämiseen jäykistystä laskettaessa voidaan käyttää vaihtoehtoisesti painekertoimiin tai voimakertoimeen perustuvaa menetelmää (RIL-201-1-2011, 124). Painekerroinmenetelmä perustuu ulkoisten ja sisäisten paineiden sekä kitkavaikutusten aiheuttamien kuormien vektorisumman laskentaan (RIL 201-1-2011, 139). Voimakerroinmenetelmä perustuu rakennuksen mittojen mukaan määritettävän voimakertoimen määrittämiseen (RIL 201-1-2011, 136). Laskentapohjassa käytetään voimakerroinmenetelmää huomioiden lisäksi katon kitkan keskittymistä rakennuksen kattolappeelle (RIL 248-2013, 21–22).

### **2.5.2 Maastoluokka**

Maastoluokalla kuvataan rakennuspaikkaa ympäröivän maaston rosoisuutta, käytännössä ympäristön kasvillisuutta ja muuta rakennuskantaa. Kuviosta 2 voidaan arvioida sopiva maastoluokka. Rajatapauksissa on syytä valita sileämpi eli pienemmällä indeksinumerolla oleva maastoluokka. Yhtäkkisen muutoksen alueella, esimerkiksi järven tai meren rannalla, tulee maastoluokkaa tarkastella vaihteittaisena muutoksena. (RIL 201-1-2011, 126–128.)



Kuvio 2. Maastoluokka  
(RIL 201-1-2011, 127).

### 2.5.3 Nopeuspaine $q_{po}$

Nopeuspaine ratkaistaan rakennuspaikan maastoluokan ja rakennuksen kokonaiskorkeuden mukaan ohjeesta RIL 201-1-2011 löytyvällä käyrästöllä tai tarkasti

laskettuna kaavoilla. Koska tarkoituksena on tehdä laskentataulukkoa, on luontevampaa käyttää kuvion 3 mukaisia kaavoja.

$$q_{p0}(z) = \left\{ \begin{array}{ll} 0,00893 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(1,z)}{0,003} \right) \right]^2 + 0,0625 \cdot \ln \left( \frac{\max(1,z)}{0,003} \right) & \text{maastoluokassa 0} \\ 0,00794 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(1,z)}{0,01} \right) \right]^2 + 0,0556 \cdot \ln \left( \frac{\max(1,z)}{0,01} \right) & \text{maastoluokassa I} \\ 0,00995 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(2,z)}{0,05} \right) \right]^2 + 0,0697 \cdot \ln \left( \frac{\max(2,z)}{0,05} \right) & \text{maastoluokassa II} \\ 0,01279 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(5,z)}{0,3} \right) \right]^2 + 0,0895 \cdot \ln \left( \frac{\max(5,z)}{0,3} \right) & \text{maastoluokassa III} \\ 0,01513 \cdot \left[ \ln \left( \frac{\max(10,z)}{1,0} \right) \right]^2 + 0,1059 \cdot \ln \left( \frac{\max(10,z)}{1,0} \right) & \text{maastoluokassa IV} \end{array} \right.$$

Kuvio 3. Tuulen nopeuspaine korkeuden ja maastoluokan suhteen (RIL 201-1-2011, 184).

Ohjeella voi myös selvittää rinteiden vaikutusta nopeuspaineeseen kertoimella  $\gamma_D$ , mutta tarkastelu jätetään toistaiseksi tekemättä ja oletetaan maaston kaltevuus pieneksi. Tällöin laskennassa käytetään yllä olevan kuvan mukaista nopeuspainetta sellaisenaan. (RIL 201-1-2011, 129–131.)

#### 2.5.4 Rakennekerroin $c_s c_d$

Rakennekertoimella huomioidaan rakennuksen mittasuhteita ja tuulenpuuskan dynaamisia vaikutuksia. Arvoa 1,0 voi käyttää alle 15 metriä korkeissa rakennuksissa, joiden ominaistajuus on yli 5 Hz. Vaihtoehtoisesti kertoimelle voidaan arvioida lukuarvo kuvaajasta. (RIL 201-1-2011, 138, 141.)

#### 2.5.5 Voimakerroin $c_f$

Voimakerroin määritetään rakennuksen korkeuden, leveyden ja pituuden mukaan erikseen pääty- ja sivuseinille. Ohjekirjassa RIL 201-1-2011 on esitetty kuvaajana ja taulukkona voimakertoimen arvoja. Näitä hyödyntäen laskentapohjaan on muo-

dostettu Excelin logaritmisia trendiviivoja hyödyntämällä riittävän tarkkoja väliarvoja voimakertoimelle. (RIL 201-1-2011, 136–137.)

### 2.5.6 Kitkakerroin $c_{fr}$

Voimakerroin  $c_f$  tasaa kitkavaikutukset koko rakennuksen vaikutuspinnalle, joten vesikatteen kitkakerroin on huomioitava yläpaarretason tuulikuormaa määrittäessä. Kitkakerroin riippuu vesikatteen materiaalista ja muodosta. Käytännössä rulla- ja palahuopakatteille käytetään kitkakerrointa 0,02 ja profiilikatteille 0,04. (RIL 201-1-2011, 165–166; RIL 248-2013, 21–22.)

## 2.6 Lujuuskertoimet

Kuormat jaetaan eri aikaluokkiin kuormituksen keston suhteen. Esimerkiksi omapaino on pysyvää kuormaa, lumikuorma keskipitkää ja tuulikuorma hetkellistä. Lisäksi puurakenteita koskee rakenneosien luokittelu käyttöluokkiin kosteus- ja lämpötilaolosuhteiden mukaan. Kattoristikot mitoitetaan yleensä käyttöluokkaan 2, joka vastaa ulkoilman kanssa kosketuksissa olevaa, kuivana pysyvää rakennetta. Paineekyllästettyä puuta ja haponkestäviä naulalevyjä käyttämällä ristikkorakenne voidaan suunnitella myös erittäin vaativiin olosuhteisiin, kuten ulkoilmakatsomon rungoksi tai lietesäiliön katoksi. (RIL 205-1-2009, 29–31; RT 85-10495, 4.)

Aika- ja käyttöluokan perusteella valitaan puun lujuusominaisuuksiin vaikuttava kerroin  $k_{mod}$ . Kertoimeksi valitaan aina kuormayhdistelmät lyhimmän aikaluokan kuormaa vastaava kerroin. Laskentapohjaa varten käytännössä tarvitaan vain keskipitkän aikaluokan kerrointa 0,8 ja hetkellisen aikaluokan kerrointa 1,1. (RIL 205-1-2009, 45–46.)

Materiaalin lujuutta pienennetään jakamalla sen ominaisarvo materiaalin osavarmuusluvulla  $\gamma_M$ , joka sahatavaran kohdalla on 1,4. Ristikön osat voivat olla lujuusluokkaa C35 tai lujempaa, jolloin voitaisiin käyttää osavarmuuslukuna 1,25, mutta liitettävät osat, kuten tuuletusrima ja ruoteet, ovat kuitenkin heikompa lu-



juutta, jolloin tulee käyttää heikoimman materiaalin mukaista eli suurinta osavarmuuslukua. (RIL 205-1-2009, 43.)

Sahatavaran veto- ja taivutuskestävyyttä mitoittaessa huomioidaan kuormitetun poikkileikkauksen sivumitat kertoimella  $k_h$ . Kerroin toimii lujuutta korottavasti sahatavaralla 150 millimetriin asti. Vetokestävyydessä huomioidaan suurempi sivumitta ja taivutuskestävyydessä poikkileikkauksen korkeus. (RIL 205-1-2009, 46.)

## 2.7 Kuormakertoimet

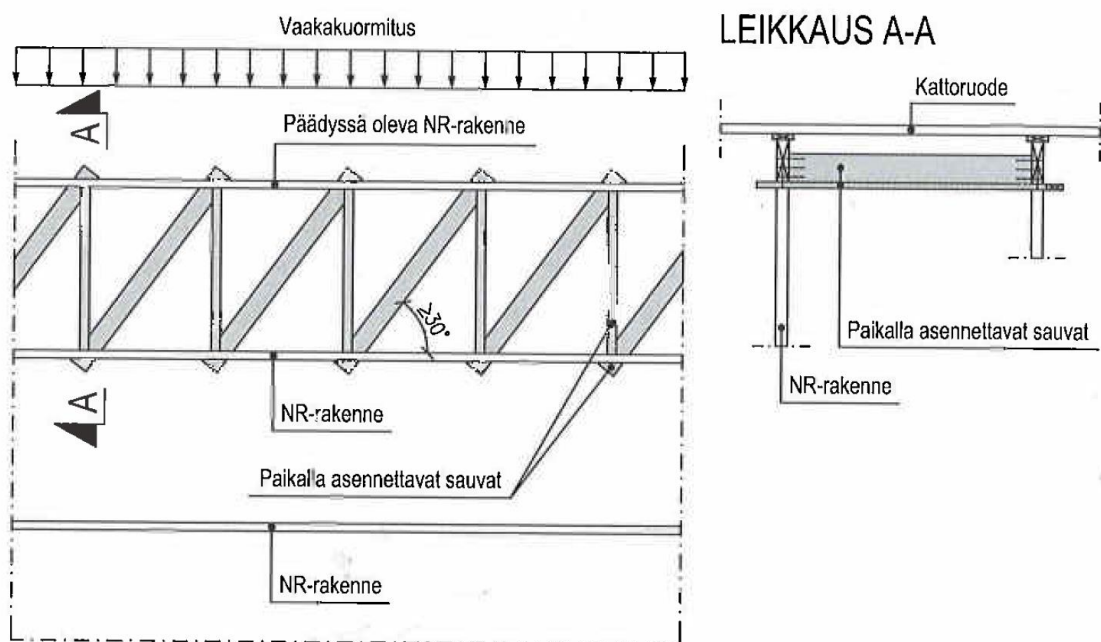
Kuormitusyhdistelmien laskenta perustuu rajatilakohtaisiin kuormitustyyppin kertoi-  
miin. Pääosin kuormat jaetaan pysyviin ja muuttuviin kuormiin. Kuormitusyhdistel-  
män aikaluokka määräytyy lyhimmän mukaan laskettavan kuorman aikaluokan  
mukaan. Muuttuvista kuormista valitaan aina määräävä kuorma, jolloin muut muut-  
tavat kuormat kerrotaan pienentävällä yhdistelykertoimella. (RIL 205-1-2009, 24–  
27.)

Kuormakerroin  $K_{FI}$  viittaa seuraamusluokkaan, joka määräytyy rakenteen pettämi-  
sen aiheuttamien mahdollisten henkilö- ja ympäristövahinkojen sekä taloudellisten  
ja sosiaalisten vahinkojen perusteella. Murtorajatilan kuormat, lukuun ottamatta  
edullista omapainoa, kerrotaan kuormakertoimella  $K_{FI}$ . Toistaiseksi laskentapohja  
huomioi vain seuraamusluokan CC2, joka on yleisin ja ei muuta kuormia ( $K_{FI} =$   
1,0). (RIL 205-1-2009, 25–26.)

### 3 JÄYKISTYSTAVAT

#### 3.1 Vaakaristikot paarteiden välissä

Kattoristikoiden yläpaarteiden väliin asennetaan tehdasvalmisteiset tai työmaalla tehdyt jäykisteristikot, jotka ottavat vastaan kattorakenteen yläpaarretason nurjahduksen aiheuttamat sisäiset jäykistysvoimat, yläpaarretason tuulikuormat ja rakennuksen vinoudesta aiheutuvat lisävaakavoimat. Työmaalla tehdyissä jäykisteristikoiden solmupisteet on laitettava kattoristikon maksimiruodejaon mukaan kuten esimerkiksi kuviossa 4. Yläpaarretason vaakaristikoiden tukireaktiot on siirrettävä sivuseinälle täydentävillä rakenteilla. (RIL 248-2013, 26-28.)

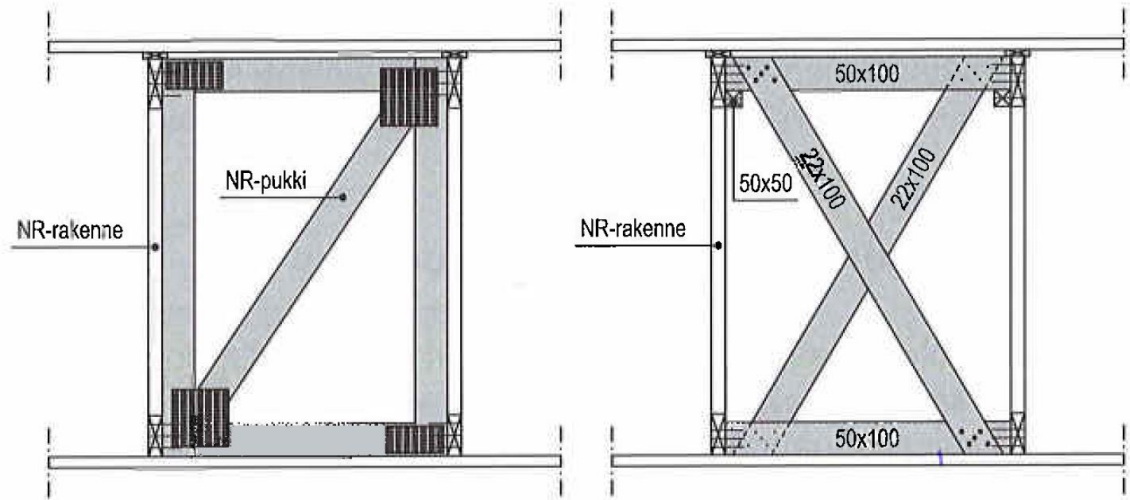


Kuvio 4. Työmaalla tehty jäykisteristikko (RIL 248-2013, 28).

#### 3.2 Pystypukit kattoristikoiden välissä

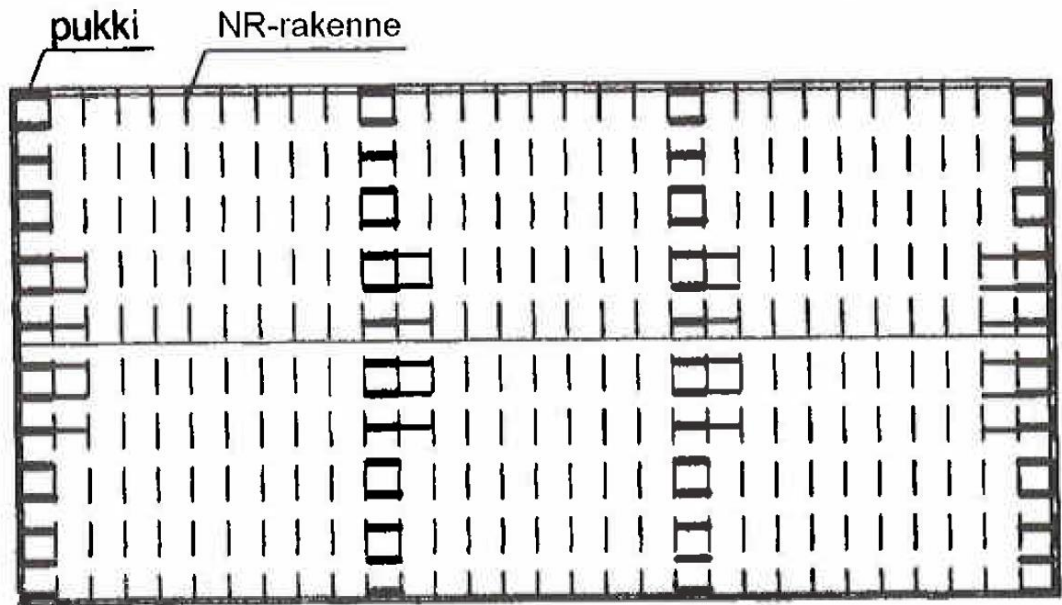
Vaakaristikoiden tukireaktiot voidaan ottaa vastaan kattoristikoiden väliin sijoitettavilla pukkarakenteilla. Pukit voivat olla kuvion 5 mukaisesti tehdasvalmisteisia tai paikallarakennettuja. Mikäli pukin kohdalla on riittävät lisäruoteet ruoteet ottamaan vastaan sisäisten jäykistyskuormien tukireaktiot, voidaan pukit mitoittaa pelkille

ulkoisille voimille, kuten yläpaarretason tuulikuorma ja lisävaakavoimat. Katon alapaarretason jäykistyksellä otetaan vastaan pukkien tukireaktiot sekä siihen suoraan kohdistuvat kuormat, jotka siirretään sivuseinille. (RIL 248-2013, 26–28.)



Kuvio 5. Pystypukit  
(RIL 248-2013, 29).

Pystypukkeja on mahdollista sijoittaa koko katon matkalle joka toisen ristikon väliin, jolloin yksittäiselle pukille tulevaa voimaa saadaan pienennettyä huomattavasti ja kaikki kattoristikot voidaan suunnitella pienelle pystyvoimalisäykselle (RIL 248-2013, 32). Vaakaristikon voi myös korvata kokonaan pystypukeilla kuvion 6 mukaisesti, jos pukkijako yksittäisessä kattoristikkovälissä on riittävän tiheä, että täydentävät rakenteet välittävät voimat pystypukeille (RIL 248-2013, 29).



Kuvio 6. Pukkijäykistys  
(RIL 248-2013, 29).

Pelkän pukkijäykistuksen toteuttaminen NR-rakenteisena aiheuttaa varsinkin pitkillä jänneväleillä suuren määrän erillisiä NR-suunnitelmia. Vaakajäykisteiden yhteydessä suunnitelmia tulee vain muutama kattoristikon lisäksi. Rakennusteknisesti on helpompaa suunnitella lisäksi jäykisteväliin erillinen kattoristikko, jossa on vertikaali pukkien kiinnitystä varten, jolloin vältetään kulmarautakiinnitykset ylä- ja alaparteeseen.

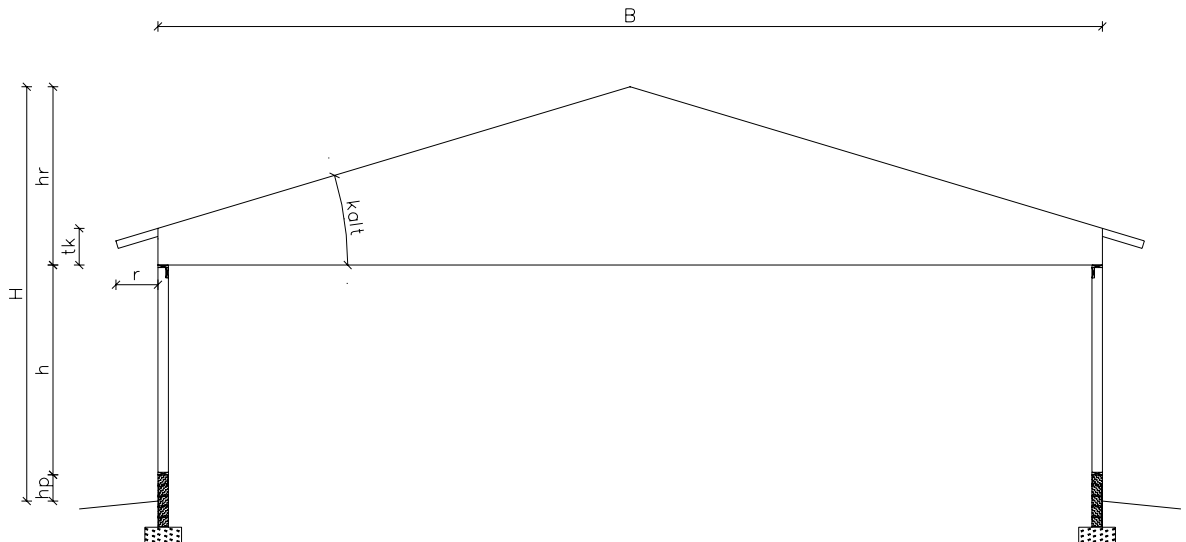
### 3.3 Muita jäykistysmenetelmiä

Paarteisiin kiinnitetyllä puulevyllä tai korkeaprofiilisella pellillä toteutettu levyjäykistys voidaan laskea samaan tapaan kuin levyjäykistetty seinä. Sivuseinän kohdalla kuormat on johdettava alas esimerkiksi jäykistyspukeilla. (RIL 248-2013, 30.)

Paarteiden välinen jäykisteristikko on mahdollista korvata päädyissä paarteeseen kiinnitetyllä vinolaudoituksella. Pientaloissa voi riittää vain parikin lautaa kiinnityttyinä nurkasta harjalle päin. Tällöin tulee kuitenkin huolehtia, että päädyn rakenne pystyy välittämään kuormat. (RIL 248-2013, 30–31.)

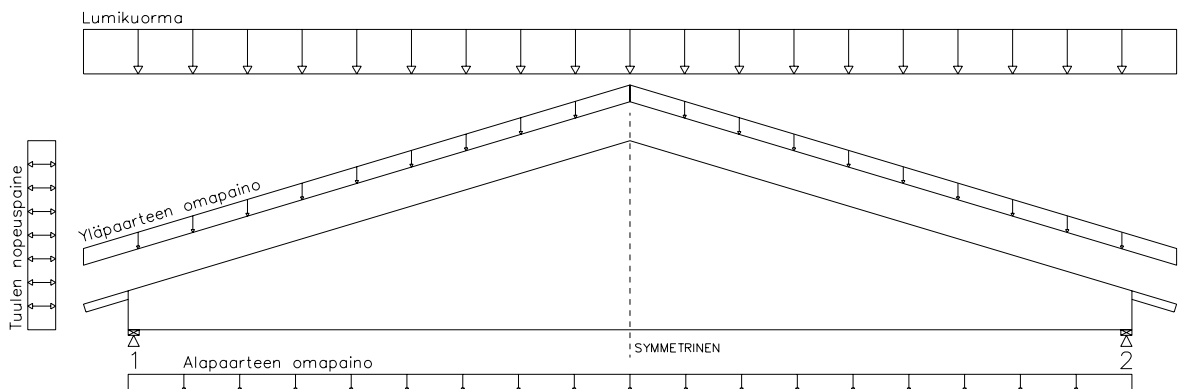
Pientalorakentamisessa saatetaan käyttää teräksistä reikävannetta jäykistämiseen, etenkin puolitoistakerroksisissa omakotitaloissa. Sisäpinnan puolella pysyvästi lämpöisenä ratkaisu ei ole ongelmallinen, mutta kylmissä rakennuksissa lämpötilan muutokset voivat aiheuttaa hankalia pituuden muutoksia. Suurilla kuormilla päiden kiinnitys voi olla haasteellinen toteuttaa. (RIL 248-2013, 30.)





Kuvio 8. Leikkaus A-A.

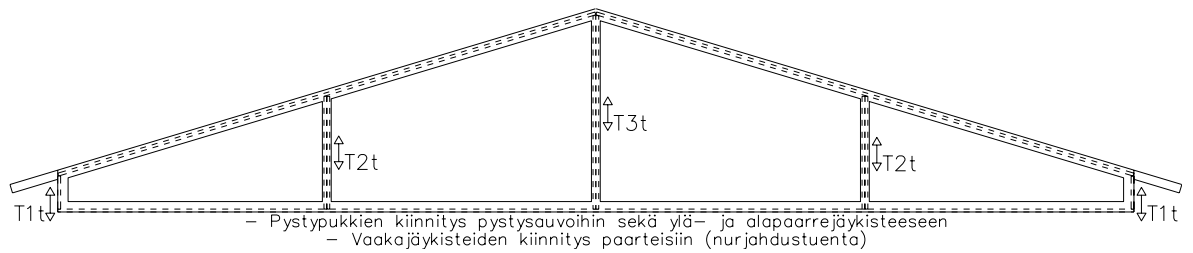
Runko on perinteinen sahatavararunko. Laskentapohjan kannalta oleellista rungon osalta on tietää rungon korkeus. Perustuksiin otetaan kantaa lähinnä perustuskorkeuden osalta, jonka tulisi olla vähintään 350 mm. Harjakorkeuden  $H$  ja rakennuspaikan maastoluokan perusteella määritetään tuulen nopeuspaine ristikkosuunnittelua varten.



Kuvio 9. Ristikon kuormat.

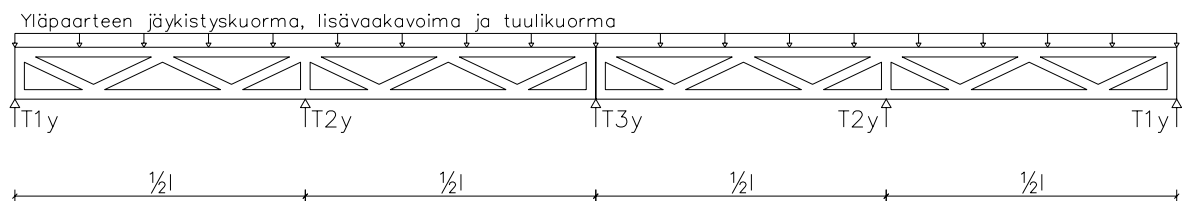
Tarkasteltava kattorakenne toteutetaan naulalevyristikoilla, jotka ovat normaaleja, symmetrisiä harjaristikoita. Kattoristikoihin vaikuttaa kuormia kuvion 9 mukaisesti. Ennen jäykistys suunnittelun jatkamista, rakennuksen kattoristikoista teetetään NR-suunnitelma, jonka tietojen pohjalta kokonaisjäykistys suunnitellaan.

## 4.2 Jäykistys



Kuvio 10. Leikkaus B-B.

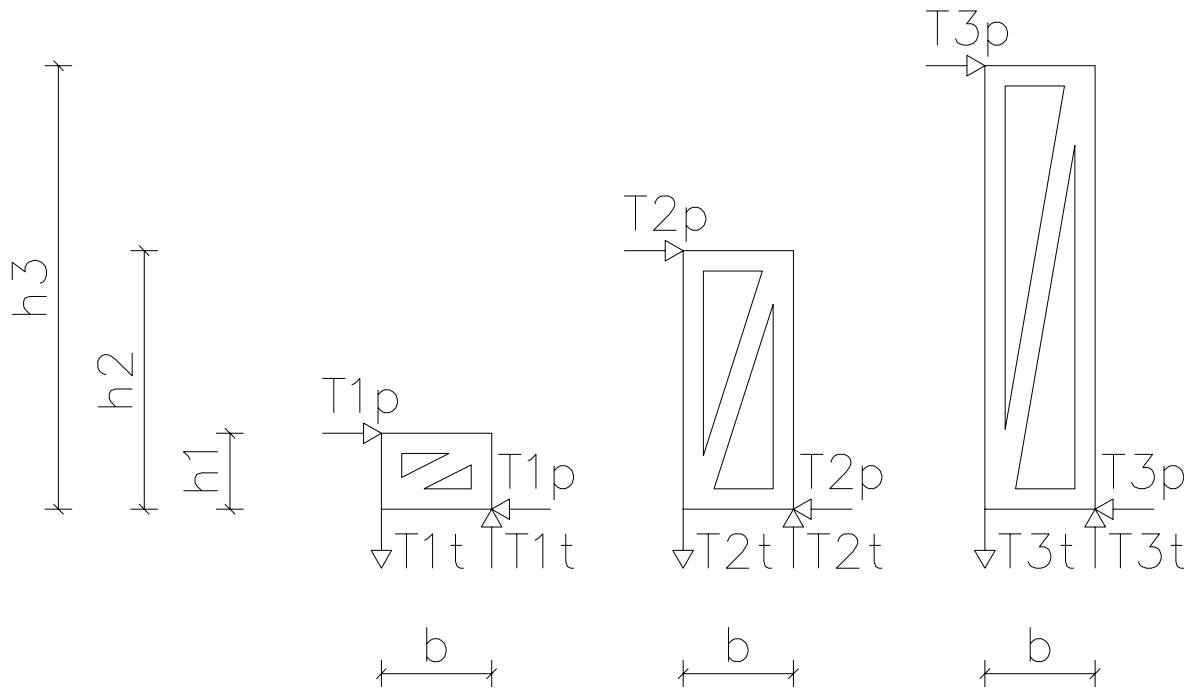
Jäykistepakka muodostetaan asettamalla paarteiden väliin jäykisteristikot ja jäykistepukit sivuseinille, harjalle ja  $\frac{1}{4}$ -pisteisiin kuvion 10 mukaisesti. Jäykistepakkaan kiinnitettävät kattoristikot tarvitsevat vertikaalit jäykistepukkien kohdalle, mutta ovat muodoltaan muuten rakennuksen muiden ristikoiden kaltaisia. Jäykistepukkien aiheuttamien pystyvoimien takia jäykistepakan ristikot tuplataan päädyn ristikkoalukuun ottamatta ja suunnitellaan puolelle kuormitusleveydelle.



Kuvio 11. Yläpaarrejäykiste.

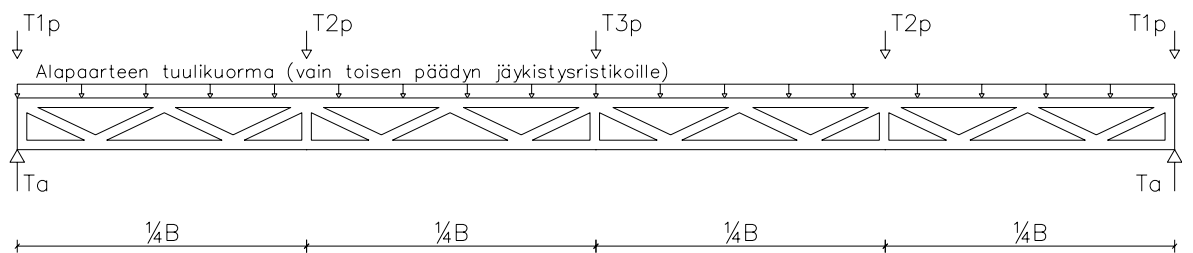
Yläpaarrejäykiste ottaa vastaan yläpaarretason tuulikuormat, rakennuksen vinoudesta aiheutuvat pidemmän suunnan lisävaakavoimat ja yläpaarreen nurjahdustuenta aiheutuvat jäykistyskuormat kuvion 11 mukaisesti. Kuormien ajatellaan jakaantuvan tasaisesti jäykistepakkojen kesken. Kattoruoteet mitoitetaan kuljettamaan nurjahduskuormat jäykistepakoille ja kestäämään yläpaarrejäykisteen tuentavoimat. Yläpaarrejäykisteen ajatellaan toimivan sivuseinältä harjalle kaksiaukkoisena palkkina.





Kuvio 12. Jäykistepukit.

Jäykistepukit kiinnitetään jäykistepakan kattoristikoiden pystysauvoihin sekä ala- ja yläpaarrejäykisteeseen. Pukkien avulla yläpaarretasolta siirretään lisävaakavoimat ja tuulikuormat alapaarretasolle. Muu jäykistyskuorma pidetään ruoteilla erillisenä kenttänä. Kuvion 12 pukkien tuentavoimat riippuvat pukkien korkeuden ja leveyden suhteesta.



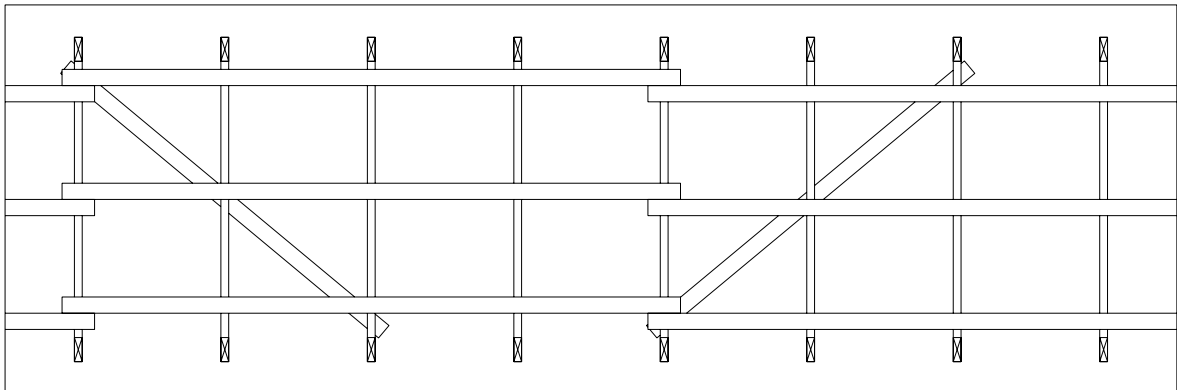
Kuvio 13. Alapaarrejäykiste.

Alapaarrejäykiste toimii sivuseinältä toiselle päistä kantavana palkkina kuvion 13 mukaisesti. Se ottaa vastaan pystypukkien siirtämät kuormat sekä päädyistä alapaarretason tuulikuormat. Jos alakattoon ei tule laudoitusta, on ajateltava alapaarretason tuulikuormien sijoittuvan ainoastaan yhden päädyn peräkkäisille alapaarrejäykisteille. Alapaarretason tuulikuormat voidaan ottaa vastaan myös alakaton rakenteilla, jolloin alapaarrejäykiste välittää ainoastaan yläpaarretason kuormat sivuseinille.

### 4.3 Muita huomioita

Laskentapohjalla voi nykyisessä muodossaan laskea katon kokonaisjäykistyksen, mutta rungon jäykistyksestä jää puuttumaan seinien jäykistys ja alapaarretason jäykistys sivuseinille kohdistuville vaakakuormituksille. Pohja kuitenkin antaa jäykistettävät kuormat, jolloin seinien jäykistys voidaan mitoittaa jollakin valmiilla ohjelmalla (Puuinfo 2014). Alapaarretason jäykistys voidaan viimeistellä levytyksellä tai vinolaudoituksella (Puuinfo 2010, 120–124; RIL 248-2013, 62–66).

Kattoristikkoon voi jäädä nurjahdustuentaa vaativia sauvoja. NR-suunnittelija mitoittaa nurjahdustuennan, mutta tällöin oletetaan, että nurjahdustuettavien uumasauvojen jäykistyskuormat johdetaan ruoteille ja alakaton koolaukselle. Nyt kuitenkin ruoteet mitoitetaan ottaen huomioon vain yläpaarteiden jäykistystarve ja alakatosta puuttuu oletuksena kokonaan laudoitus. Nämä seikat huomioiden asennetaan tuettavan uumasauvan nurjahdustuki- ja vinolautojen lisäksi sidelaudat ylä- ja alapäähän kuvion 14 mukaisesti. (RIL 248-2013, 16–19, 57–59).



Kuvio 14. Uumasauvan nurjahdustuenta.

## 5 LASKENTAPERIAATTEET

### 5.1 Lähtötiedot

Alla on esitettynä näkymää laskentapohjan alusta. Keltaiset kentät esittävät syötettävää tietoa, vihreät ohjelman omia välitietoja ja siniset oleellisia laskentatuloksia. Lisäksi ohjelmassa on hyödynnetty vetovalikkoja, joiden valintojen perusteella haetaan taulukkotietoja erilliseltä välilehdeltä.

Taulukko 1. Alkutiedot.

#### Paikkakunta

Seinäjäoki

#### Mittatiedot

H	7900	mm	Rakennuksen harjakorkeus
B	18000	mm	Rakennuksen leveys
L	27000	mm	Rakennuksen pituus
R	700	mm	Päätyräystäs
r	800	mm	Sivuräystäs
h	4000	mm	Seinäkorkeus
h <sub>r</sub>	3400	mm	Ristikon korkeus
tk	700	mm	Tukikorkeus
kk	900	mm	Ristikkojako
b <sub>r</sub>	48	mm	Ristikon paksuus
b <sub>j</sub>	48	mm	Jäykisteiden paksuus
b <sub>a</sub>	50	mm	Vapaa väli aluskatteelle
kalt	16,70	°	Ristikon kaltevuus
kalt	0,2915	rad	- radiaaneita
h <sub>p</sub>	500	mm	Sokkelikorkeus maanpinnasta

Mittatiedot annetaan runkomittoina. Julkisivurakenteiden paksuudet eivät vaikuta laskennan tarkkuuteen merkittävästi, koska tuloksia täytyy joka tapauksessa pyöristää ylöspäin NR-suunnitteluohjelmien sallimiin tarkkuuksiin.

## 5.2 Kattoristikko

Rakennuskohteen rakennesuunnittelija toimittaa ristikkosuunnittelua varten seuraavat tiedot:

- kattoristikon ulkomittapiirroksen
- rakennuspaikkakunta
- valittu katemateriaali
- eristämisen tarve
- tuulen nopeuspaine tai rakennuksen korkeus ja rakennuspaikan maastotietoa (maastoluokka ja mahdollinen rinnevaikutus).

Kohteen rakennesuunnittelija voi myös määrittää kattoristikon suunnittelukuormat itse. Jotta jäykistyssuunnittelua voidaan jatkaa, täytyy rakennuksen pääkattoristikko suunnitella tässä vaiheessa oheisen taulukon kaltaisilla tiedoilla.

Taulukko 2. Ristikön suunnittelukuormat.

PELTI	▼
LÄMMIN	▼
MAASTOLUOKKA II	▼
<b>Ristikön kuormat</b>	
$q_{k,lumi}$	2,500 kN/m <sup>2</sup> Lumikuorma
$g_{k,yp}$	0,150 kN/m <sup>2</sup> Omapaino yläpaarteelle
$g_{k,ap}$	0,300 kN/m <sup>2</sup> Omapaino alapaarteelle
$q_{po}$	0,608 kN/m <sup>2</sup> Tuulen nopeuspaine

NR-suunnitelmasta poimitaan oheisen taulukon mukaiset tiedot. Pienennyskerroin viittaa yläpaarteen maksimipuristusvoiman muuttamista keskimääräiseksi puristusvoimaksi. Pienennyskerroimeksi valitaan 0,85. (RIL 248-2013, 49.)

Taulukko 3. NR-suunnitelman tiedot.

$g_{k,r}$	202	kg	Ristikön massa
$N_{d,max}$	53,7	kN	Yläpaarteen puristusvoima
	0,85		- pienennyskerroin
$a_k$	550	mm	Ruodeväli
$k_c$	1,00		Käyttöaste nurjahdukselle

### 5.3 Tuulikuorma

Tuulikuormien laskennassa hyödynnetään teoksessa RIL 248-2013 (21-22) esitettyjä oletuksia tuulen kitkan keskittämisestä. Yläpaarretason tuulikuorma lasketaan kaavasta

$$q_{t,k,y} = \frac{c_s c_d \gamma_D q_{p0}(H)}{2l} \left( c_f A_{yp} + c_{fr} A_{fr} \left( 1 - \frac{A_{yp}}{A_{ref}} \right) \right), \quad (1)$$

missä

- $c_s c_d$  on rakennekerroin
- $\gamma_D$  on rinnevaikutuskerroin
- $q_{p0}(H)$  on korkeutta H vastaava tuulen nopeuspaine
- $l$  on yläpaarrejäykisteen mitta
- $c_f$  on tuulen voimakerroin
- $A_{yp}$  on yläpaarretason tuulen vaikutuspinta-ala
- $c_{fr}$  on katemateriaalia vastaava tuulen kitkakerroin
- $A_{fr}$  on katon kokonaispinta-ala
- $A_{ref}$  on päädyn kokonaispinta-ala.

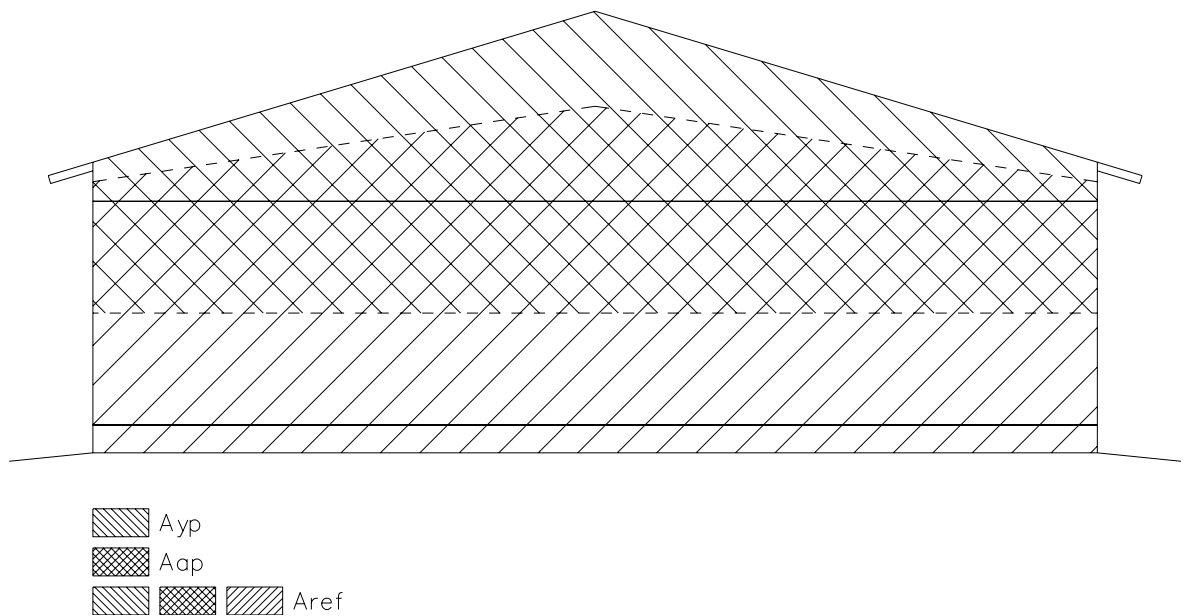
Kaavassa 1 huomioidaan katon kitkavaikutuksen kohdistaminen yläpaarretasolle. Voimakerroin  $c_f$  sisältää valmiiksi kitkavaikutusta, joten sekin huomioidaan vähennyksenä osuudesta päädyn pinta-alasta. On huomattava, että yläpaarretason tuulikuorma lasketaan viivakuormana yläpaarrejäykisteen suuntaisesti. Alapaarretasolle kohdistettava tuulikuorma lasketaan kaavasta

$$q_{t,k,a} = \frac{c_s c_d \gamma_D q_{p0}(H)}{B} \left( c_f A_{ap} - c_{fr} A_{fr} \frac{A_{ap}}{A_{ref}} \right), \quad (2)$$

missä

- B on rakennuksen päädyn runkoleveys
- $A_{ap}$  on alapaarretason tuulen vaikutuspinta-ala.

Kaavassa 2 alapaarretason tuulikuormasta vähennetään jo yläpaarretasolle kaavassa 1 kohdistetut kitkavaikutukset. Kuvio 15 havainnollistaa päädyn vaikutuspinta-alojen jakautumista.



Kuvio 15. Päädyn vaikutuspinta-alat.

Rakennuksen sivuseinän tuulikuorma lasketaan yksinkertaisemmin kitkakuormia erittelemättä kaavasta

$$q_{k,sivu} = c_s c_d \gamma_D q_{p0}(H) \left( h_r + \frac{1}{2} h \right), \quad (3)$$

missä

- $h_r$  on kattoristikon korkeus
- $h$  on seinärungon korkeus.

(RIL 248-2013, 48, 61.)

## 5.4 Lisävaakavoima

Lisävaakavoima on rakennuksen mittaepätarkkuuksia huomioiva lisäkuormitus. Puurakenteisissa rakennuksissa lisävaakavoimat huomioidaan lähinnä suuren jännevälän rakennuksissa ja silloinkin ne ovat varsin pieniä. Laskentapohja huomioi ne aina. Ristikkokentän jäykistyksessä huomioidaan omanpainon ja lumikuorman aiheuttama lisävaakavoima. (RIL 248-2013, 24.)

Rakenteen kokonaisomapaino lasketaan kaavasta

$$g_k = g_{k,ap} + \frac{g_{k,yp}}{\cos \alpha} \frac{(B+2r)(L+2R)}{BL} + \frac{g_{k,r} \cdot 0,00981 \frac{km}{s^2}}{Bkk}, \quad (4)$$

missä

- $g_{k,ap}$  on alapaarteen omapaino
- $g_{k,yp}$  on yläpaarteen omapaino
- $\alpha$  on katon kaltevuus
- $r$  on sivuräystään mitta
- $R$  on päätyräystään mitta
- $g_{k,r}$  on ristikon massa (kilogrammoina)
- $kk$  on ristikkojako.

Saatu omapaino vaikuttaa rungon ulkomittojen rajaamalla alueella. Räystäiden osuudet on tämän takia ”tiivistetty”. Lumikuorma lasketaan vastaavasti kaavasta

$$q_k = \mu q_{k,lumi} \frac{(B+2r)(L+2R)}{BL}, \quad (5)$$

missä

- $\mu$  on lumen muotokerroin (yleensä 0,8)
- $q_{k,lumi}$  on kuntakohtainen lumikuorma maassa.

Lisävaakavoima rakennuksen päädylle lasketaan kaavoista

$$g_{HL,k} = \frac{B}{L} \frac{g_k L}{150} \frac{B}{2l} \geq \frac{g_k L}{250} \frac{B}{2l} \quad (6)$$

ja

$$q_{HL,k} = \frac{B}{L} \frac{q_k L}{150} \frac{B}{2l} \geq \frac{q_k L}{250} \frac{B}{2l} . \quad (7)$$

Kaavat 6 ja 7 huomioivat viivakuormien kohdistamisen yläpaarrejäykisteiden mitalle. Sivuseinälle kohdistuvat lisävaakavoimat sijoitetaan alapaarretasolle ja lasketaan kaavoista

$$g_{HB,k} = \frac{g_k B}{150} \quad (8)$$

ja

$$q_{HB,k} = \frac{q_k B}{150} . \quad (9)$$

(RIL 201-1-2011, 73–74; RIL 248-2013, 24.)

## 5.5 Jäykistyskuorma

Taulukko 4. Sisäinen jäykistyskuorma.

$N_d$	45,65	kN	Keskimääräinen puristusvoima
$n$	31,00	kpl	Jäykistettävät ristikot
$l$	9380	mm	Yläpaarrejäykisteen mitta
$k_l$	1,000		
$q_d$	3,017	kN/m	Jäykistyskuorma

Katon jäykistyskenttään kohdistetaan yläpuolisen taulukon mukainen jäykistyskuorma yläpaarrejäykisteen mitalle. Ristikkojen määrä lasketaan kaavasta

$$n = \frac{(L + (N_{a,p} - N_{y,p})b_r)}{k/k} + 1 , \quad (10)$$

missä

- $N_{a,p}$  on päädyn peräkkäisten alapaarrejäykisteiden määrä
- $N_{y,p}$  on päädyn peräkkäisten yläpaarrejäykisteiden määrä
- $b_r$  on kattoristikon paksuus.

Ristikoiden määrässä huomioidaan ylimääräisten alapaarrejäykisteiden aiheuttamat kapeammat ristikkovälit.



Pienennyskerroin  $k_l$  huomioi asennustoleranssin rajoittumisen 50 millimetriin ja se lasketaan kaavasta

$$k_l = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{l}}} \right\} \quad (11)$$

(RIL 248-2013, 22).  $N_d$  on yläpaarten keskimääräinen puristusvoima, jossa pienennyskerroin (0,85 edellä) on jo huomioitu. Yläpaarrejäykisteen mitassa on huomioitava jäykisteen mahtuminen asentoonsa. Yleensä on myös syytä käyttää parillisia mittalukemia, sillä jäykiste todennäköisesti suunnitellaan symmetriseksi. Jäykisteen mitta saadaan kaavasta

$$l = \frac{B}{2 \cos \alpha} - b_j \tan \alpha, \quad (12)$$

missä

- $b_j$  on jäykisteiden paksuus.

Lopulta jäykisteisiin kohdistettu yläpaarten jäykistyskuorma saadaan kaavasta

$$q_d = k_l \frac{nN_d}{50l} \quad (13)$$

(RIL 248-2013, 22).

Taulukko 5. Yksittäisen jäykisteristikon kuorma

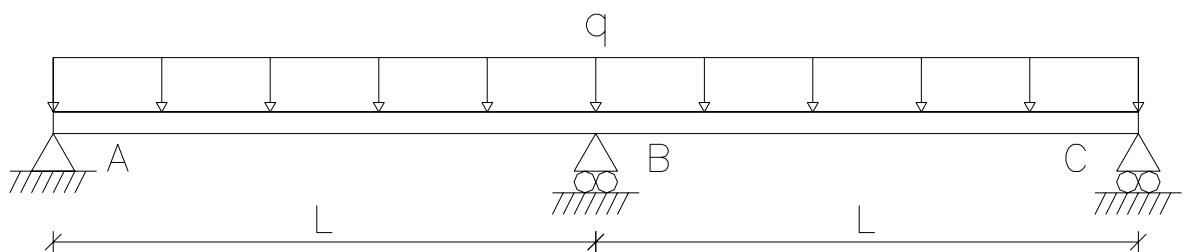
**Jäykistyskuormat, yläpaarre**

$N_y$	2	kpl	Yläpaarrejäykisteet
$N_{y,p}$	1	kpl	Peräkkäiset päädyssä $\leq \frac{1}{2}N_y$
$q_d/N$	1,51	kN/m	jäykistys
$g_{HL,k}/N$	0,04	kN/m	omapaino, lisävaakavoima
$q_{HL,k}/N$	0,14	kN/m	lumi, lisävaakavoima
$q_{t,k,y}/N$	0,63	kN/m	tuuli, yläpaarretaso

**Jäykistyskuormat, alapaarre**

$N_{a,p}$	1	kpl	Peräkkäiset päädyssä $\geq N_{y,p}$
$q_{t,k,a}/N$	1,72	kN/m	tuuli, alapaarretaso

Yksittäiselle jäykisteristikolle kohdistettava kuorma saadaan yksinkertaisella jakolaskulla. On huomattava, että alapaarretason tuulikuorma jaetaan ainoastaan päädyn alapaarrejäykisteille. Peräkkäisten yläpaarrejäykisteiden määrällä on merkitystä ruoteiden kiinnityksen laskennassa. Laskentapohja sallii ainoastaan identtisten pakkojen sijoittamisen kattoon, eli  $N_y$ :n on oltava jaollinen  $N_{y,p}$ :llä.

**5.6 Tukivoimat**

Kuvio 16. Kaksiaukkoinen palkki.

Yläpaarrejäykisteen tukireaktiot lasketaan kuvion 16 kaksiaukkoisen palkin rakennemallin perusteella. Tukireaktio on sivuseinällä

$$T_{1,y} = \frac{3}{16} q_i l, \quad (14)$$

katon  $\frac{1}{4}$ -pisteessä

$$T_{2,y} = \frac{5}{8} q_i l \quad (15)$$

ja harjalla

$$T_{3,y} = 2T_{1,y} = \frac{3}{8}q_i l . \quad (16)$$

Tukivoimista lisävaakavoimien ja tuulikuormat osuus välitetään pystypukeille. Jäykistyskuorma pidetään yläpaarretasolla lisäruoteiden avulla. Jäykistyspukkien tuenta aiheuttaa pystysuuntaiset leikkausvoimat jäykistepakan kattoristikoiden vertikaaliin. NR-suunnittelija mitoittaa liitoksen naulaukset. Pystyvoiman voi laskea kaavasta

$$T_{i,t} = \frac{h_i}{b} T_{i,p} , \quad (17)$$

missä

- $h_i$  on pukin  $i$  korkeus
- $b$  on pukkien leveys
- $T_{i,p}$  on pukin  $i$  vaakavoima.

Pukin mitoissa huomioidaan niiden mahtuminen leveyssuunnassa kk-jaolle asennettujen tuplakattoristikoiden väliin ja korkeussuunnassa ala- ja yläpaarrejäykisteen väliin. Pukkien leveys saadaan tällöin kaavasta

$$b = kk - 2b_r , \quad (18)$$

pukin 1 korkeus kaavasta

$$h_1 = tk - \frac{b_a}{\cos \alpha} - b_j(1 + \cos \alpha) , \quad (19)$$

missä

- $tk$  on kattoristikon tukikorkeus
- $b_a$  on aluskatteelle jätetty vapaa väli,

pukin 2 korkeus kaavasta

$$h_2 = \frac{tk+h_r}{2} - \frac{b_a+b_j}{\cos \alpha} - b_j(1 + \tan \alpha) \quad (20)$$

ja pukin 3 korkeus kaavasta

$$h_3 = h_r - \frac{b_a + b_j}{\cos \alpha} - b_j(1 + \tan \alpha) . \quad (21)$$

Pukkien vaakavoimat kohdistetaan alapaarrejäkisteille, jotka kiinnitetään rungon yläjuoksuun tukivoimalle

$$T_a = T_{1,p} + T_{2,p} + \frac{1}{2}T_{3,p} + \frac{1}{2} \frac{q_{t,k,a}}{N_{a,p}} B . \quad (22)$$

## 5.7 Ruoteiden mitoitus

Ruoteiden kiinnityksen mitoitus perustuu yläpaarteen nurjahduksen estämisen aiheuttamiin kuormiin. Nurjahdustuen liitosvoima saadaan kaavasta

$$F_{p,d,max} = k_c \frac{N_d}{50} , \quad (23)$$

missä

- $k_c$  on yläpaarteen maksimiruodeväliä vastaava sivusuuntaisen nurjahduksen käyttöaste

(RIL 248-2013, 19).

### 5.7.1 Tuuletusriman kiinnitys

Aluskatteen kiinnitysriman liitinvälin tulee täyttää ehto

$$s_{rima} \leq \frac{R_d a_k}{F_{p,d,max}} , \quad (24)$$

missä

- $R_d$  on käytetyn naulan mitoituskkestävyys leikkausvoimalle
- $a_k$  on yläpaarteen maksimiruodeväli

(RIL 248-2013, 35). Naulan leikkauskestävyys lasketaan kaavasta

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} k_\rho \left\{ \begin{matrix} k_t \\ k_e \end{matrix} R_k \right. , \quad (25)$$

missä

- $k_{\text{mod}}$  on kuorman aikaluokan ja kosteusolosuhteet huomioiva kerroin
- $\gamma_M$  on materiaalin osavarmuusluku
- $k_p$  on liitospuiden tiheyden huomioiva kerroin
- $k_t$  ja  $k_e$  ovat naulan tunkeumat huomioivia kertoimia
- $R_k$  on naulan ominaisleikkauskestävyys.

Sahatavaralle käytetään osavarmuuslukuna  $\gamma_M = 1,4$ . Mitoitustilanne on ruoteiden mitoituksessa käytännössä aina keskipitkää aikaluokka käyttöluokassa 1 tai 2, jolloin käytetään kerrointa  $k_{\text{mod}} = 0,8$ . Naulan ominaisleikkauskestävyys (esiporaamaton) lasketaan kaavasta

$$R_k = 120d^{1,7}, \quad (26)$$

missä

- $d$  on naulan paksuus.

Liitoksen heikoimman puun mukaan saadaan tiheysvaikutuskerroin kaavasta

$$k_p = \sqrt{\frac{\rho_k}{350}}, \quad (27)$$

missä

- $\rho_k$  on heikoimman puun ominaistiheys.

Naulan tunkeumat  $t_1$  (kannan puoleinen) ja  $t_2$  (kärjen puoleinen) määrittävät käytettävän tunkeumakertoimen. Sahatavaralla tunkeumien on oltava  $t_1 = 7d$  ja  $t_2 = 8d$  esiporaamattomille nauloille. Jos tunkeumat ovat  $t_1 < 8d$  tai  $t_2 < 12d$ , käytetään kerrointa

$$k_e = \min \left\{ \frac{t_1}{8d}, \frac{t_2}{12d} \right\}, \quad (28)$$

ja muissa tapauksissa kerrointa

$$k_t = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,3 \frac{t_1 - 8d}{8d} \\ 1 + 0,3 \frac{t_2 - 12d}{6d} \end{array} \right. \quad (29)$$

rajoituksella, että

- $k_t \leq 1,3$  sileillä neliskulmaisilla nauloilla (käsinaulat)
- $k_t \leq 1,1$  sileillä pyöreillä nauloilla (konenaulat).

(RIL 205-1-2009, 103–104.)

Naulojen tunkeumasyvyyksien rajoituksien lisäksi naulan sijainnille liitettävien osien reunoihin ja päähän on asetettu rajoja. Raja-arvot on syytä tarkistaa Eurokoodista 5, sillä teoksessa RIL 205-1-2009 esitetyt minimietäisyysvaatimukset ovat liian kriittisiä joihinkin mitoitusilanteisiin. Kannanpuoleisen tunkeuman minimivaatimus tulee vastaan tuuletusriman ja ruoteen kiinnityksissä. Oheisen taulukon perusteella tarkastellaan etäisyysvaatimuksia ruoteen, riman ja ristikon kannalta. Lisäksi taulukon perusteella tarkastellaan suurinta naulamäärää, joka ruoteeseen mahtuu. (RIL 248-2013, 33–34; SFS-EN 1995-1-1 + A1 + AC, 58.)

Taulukko 6. Naulojen etäisyysvaatimukset  
(SFS-EN 1995-1-1 + A1 + AC, 58).

Väli tai etäisyys (ks. kuvaa 8.7)	Kulma $\alpha$	Naulavälin tai pääty- tai reunaetäisyyden vähimmäisarvo		
		ei reikien esiporausta		reikien esiporaus
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Naulaväli $a_1$ (syysuunnassa)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+5 \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+7 \cos \alpha ) d$	$(7+8 \cos \alpha ) d$	$(4+ \cos \alpha ) d$
Naulaväli $a_2$ (syysuuntaa vastaan kohtisuoraan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+ \sin \alpha ) d$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettuun päähän)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5\cos \alpha) d$	$(15+5\cos \alpha) d$	$(7+5\cos \alpha) d$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamat- tomaan päähän)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettuun reunaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(7+5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(3+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(3+4 \sin \alpha) d$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamat- tomaan reunaan)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

### 5.7.2 Ruoteen kiinnitys

Käytettävä ruodejako on usein tiheämpi kuin maksimiruodejako, jolloin ruoteen kiinnitys tuuletusrimaan mitoitetaan voimalle

$$F_{p,d} = F_{p,d,max} \frac{a}{a_k}, \quad (30)$$

missä

- $a$  on käytettävä ruodejako.

Kaavan käyttö edellyttää laskentapohjan tuloksia ajatellen, että ruoteiden päittäisjatkoksia ei tehdä. Kuormia välittävä päittäisjatkos vaatisi muutenkin kohtuuttoman leveän tuuletusriman, koska leveysvaatimukseksi kertyy  $44d$ , joka vielä  $2,1 \times 50$  naulalla olisi  $92,4 \text{ mm}$  (RIL 248-2013, 35-36). Ruoteiden naulaus jatkoksissa ja jäykistepakkaan mitoitetaan voimalle

$$F_{np,d} + a q_{Hd} = a N_{y,p} (q_d + q_{Hd}) \geq F_{p,d} + a N_{y,p} q_{Hd} , \quad (31)$$

missä

- $q_{Hd}$  on lisävaakavoimien mitoitusarvo

(Puuinfo 2010, 115–117; RIL 248-2013, 20, 51). Lisävaakavoimien mitoitusarvo lasketaan keskipitkän aikaluokan kuormitusyhdistelmällä

$$q_{Hd} = 1,15 g_{HL,k} + 1,5 q_{HL,k} . \quad (32)$$

### 5.7.3 Ruoteen kestävyys

Ruoteiden kestävyys yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen tai vedon suhteen tarkistetaan voimalle  $F_{np,d}$  ja taivuttavalle viivakuormalle

$$p_d = a (1,15 g_{k,yp} + 1,5 \mu q_{k,lumi} \cos \alpha) . \quad (33)$$

Puristus- ja vetojännitys lasketaan kaavasta

$$\sigma_{c/t,d} = \frac{F_{np,d}}{b_{ruode} h_{ruode}} \quad (34)$$

missä

- $b_{ruode}$  on ruoteen leveys
- $h_{ruode}$  on ruoteen paksuus.

Vedon kanssa suurin yhteisvaikutus taivutukselle saavutetaan kaksiaukkoisen palkin keskituella, jossa tukimomentin aiheuttama taivutusjännitys on

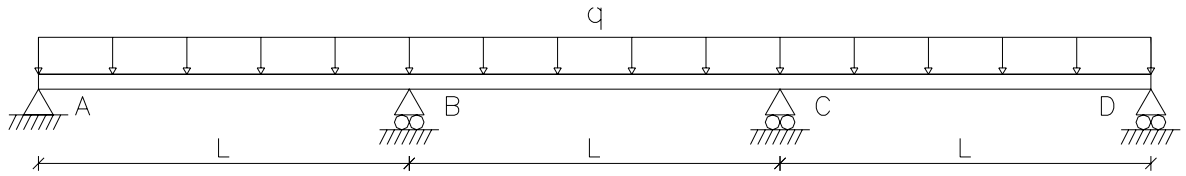
$$\sigma_{m,t,d} = \frac{p_d k k^2}{8} / \frac{b_{ruode} h_{ruode}^2}{6} . \quad (35)$$

Puristuksen kannalta mitoittavaksi tilanteeksi tulee nurjahdus ja taivutus kentässä, koska ristikoiden kohdalla naulaukset toimivat ruoteelle nurjahdustukina. Kuvion 17 kolmiaukkoisella palkilla reunimmaisten kenttämomenttien aiheuttama taivutusjännitys on



$$\sigma_{m,c,d} = \frac{51p_d k k^2}{640} / \frac{b_{ruode} h_{ruode}^2}{6}. \quad (36)$$

(RIL 248-2013, 51.)



Kuvio 17. Kolmiaukkoinen palkki.

Ruoteen vetolujuus lasketaan kaavasta

$$f_{t,0,d} = k_{h,t} k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}, \quad (37)$$

missä

- $k_{h,t}$  on ruoteen poikkileikkauksen kokovaikutuskerroin vedon suhteen
- $f_{t,0,k}$  on ruoteen lujuusluokkaa vastaava syynsuuntaisen vedon ominaislujuus.

Kokovaikutuskerroin vedon suhteen on

$$k_{h,t} = \left( \frac{150}{\max\{b_{ruode}, h_{ruode}\}} \right)^{0,2}. \quad (38)$$

Taivutuslujuus lasketaan kaavasta

$$f_{m,d} = k_{h,m} k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (39)$$

missä

- $k_{h,m}$  on ruoteen poikkileikkauksen kokovaikutuskerroin taivutuksen suhteen
- $f_{m,k}$  on ruoteen lujuusluokkaa vastaava taivutuksen ominaislujuus

Taivutuslujuuden kokovaikutuskerroin on

$$k_{h,m} = \left( \frac{150}{h_{ruode}} \right)^{0,2}. \quad (40)$$

Kokovaikutuskertoimia koskee rajoitus  $1,0 \leq k_h \leq 1,3$ . (RIL 205-1-2009, 46.)

Ruoteen puristuslujuus laskentaan kaavasta

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}, \quad (41)$$

missä

- $f_{c,0,k}$  on ruoteen lujuusluokkaa vastaava syynsuuntaisen puristuksen ominaislujuus.

Ruoteen nurjahdus huomioidaan nurjahduskertoimella  $k_{c,y}$ , joka saadaan kaavasta

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \quad (42)$$

missä

- $k_y$  on apusuure
- $\lambda_{rel,y}$  on ruoteen suhteellinen hoikkuus.

Apusuure lasketaan kaavasta

$$k_y = 0,5[1 + 0,2(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] \quad (43)$$

ja suhteellinen hoikkuus kaavasta

$$\lambda_{rel,y} = \frac{k k \sqrt{12}}{h_{ruode} \pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (44)$$

missä

- $E_{0,05}$  on ruoteen lujuusluokkaa vastaava syynsuuntainen kimmomoduulin ominaisarvo.

Jos ehto  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$  toteutuu, on nurjahduskerroin  $k_{c,y} = 1$ . Vedon suhteen mitoitus-  
ehto on

$$\frac{\sigma_{c,t,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,t,d}}{f_{m,d}} \leq 1, \quad (45)$$

puristuksen suhteen

$$\left(\frac{\sigma_{c,t,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,t,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (46)$$

ja nurjahduksen ( $k_{c,y} < 1$ ) suhteen

$$\frac{\sigma_{c,t,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,t,d}}{f_{m,d}} \leq 1 . \quad (47)$$

(RIL 205-1-2009, 71–76.)

#### 5.7.4 Lisäruoteet

Ruoteen suurin puristusvoima saadaan kaavasta

$$N_{c,d} = k_{c,y}f_{c,0,d}b_{ruode}h_{ruode} . \quad (48)$$

Edellä mainitut naulojen etäisyysvaatimukset asettavat rajan ruoteeseen rinnakkain mahtuvalle naulaukselle. Suurin naulamäärä saadaan kaavasta

$$n_{max} = \min \left\{ \frac{\frac{b_{ruode}}{5d} - 1}{\frac{N_{c,d}}{R_d}} \right\} . \quad (49)$$

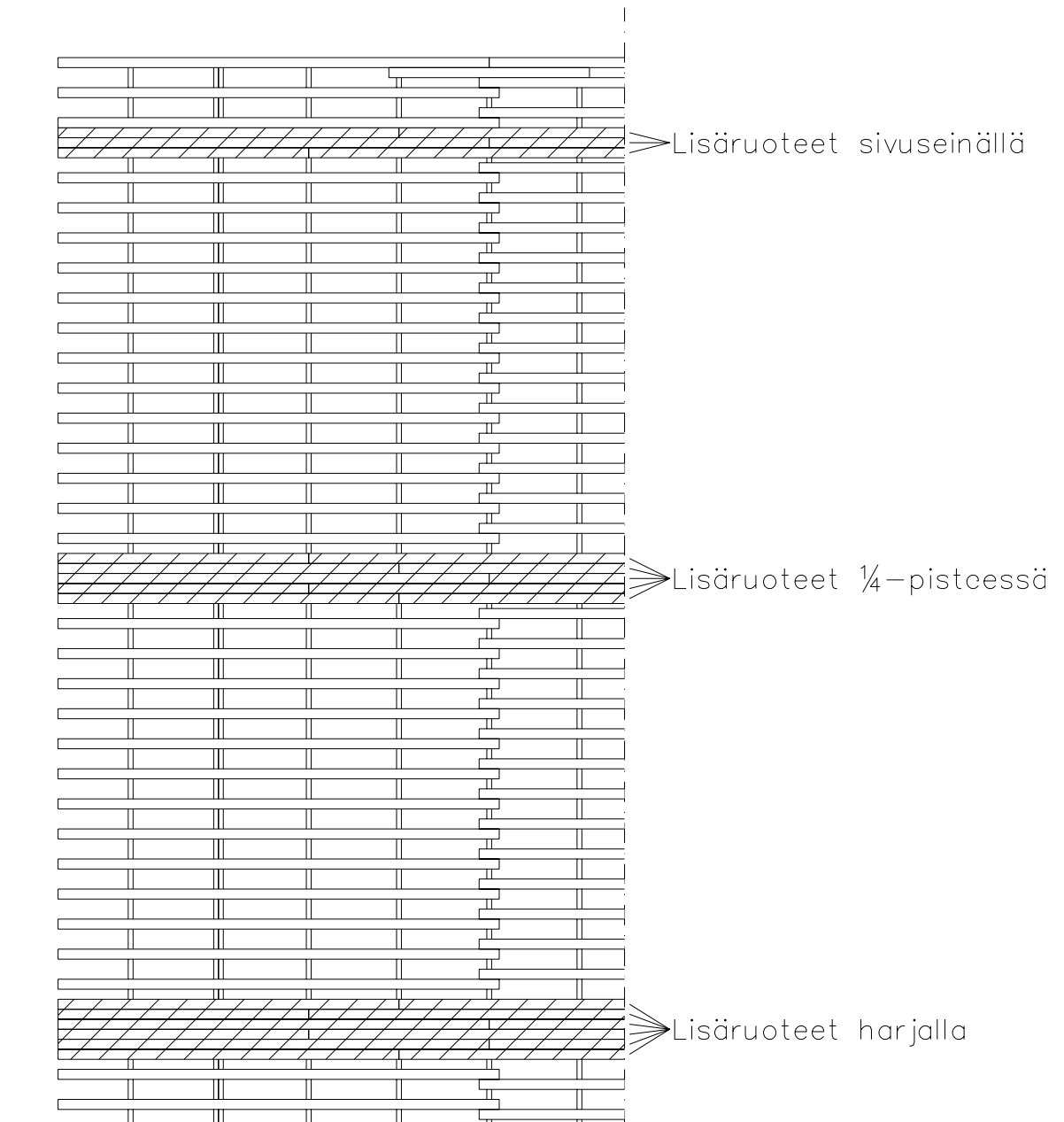
Yläpaarrejäykisteen tukireaktioista jäykistyskuormien osuus otetaan vastaan katon lisäruoteilla, jotka asennetaan pystypukkien kohdalle sivuseinille, ¼-pisteisiin ja harjalle. Lisäruoteiden määrä lasketaan kaavasta

$$n_{r,i} = \frac{T_{i,y,j}}{n_{max}R_d} , \quad (50)$$

missä

- $T_{i,y,j}$  on tukireaktion jäykistyskuormaosuus.

Lisäruoteet asennetaan kuvion 18 mukaisesti. Lisäruoteiden päittäisjatkoksia voi tehdä, mutta niitä ei saa olla vierekkäisissä ruoteissa. On mahdollista myös lisätä lisäruoteet perusruoteiden jälkeen väliin. (Puuinfo 2010, 113; RIL 248-2013, 53–54.)



Kuvio 18. Ruuteiden asennus.

### 5.7.5 Pellin kiinnitys

Yläpaarteen toinen nurjahdusmuoto, S-nurjahdus, estetään kattopellin ruuvauksella. Kateruuvi on itseporautuva ruuvi, jonka nimellispaksuus  $d$  on lähes poikkeuksetta 4,8mm. Kierreosan sisähalkaisijan tulee olla  $0,6d \leq d_i \leq 0,9d$  ja tehollinen paksuus saadaan  $d_{ef} = 1,1d_i \approx 0,7d$ . Ruuvien leikkauskestävyys saadaan kaavasta

$$R_d = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} k_s R_k, \quad (51)$$

missä

- $k_s$  on ohuen teräslevyn mukainen kerroin
- $R_k$  lasketaan käyttäen tehollista paksuutta

Teräsvaikutuskerroin saadaan ohuelle teräslevylle kaavasta

$$k_s = \min \left\{ \left( 0,2 + 0,9 \frac{t_t}{12d} \right) k_\rho, \quad 1,1k_\rho \right\}, \quad (52)$$

missä

- $t_t$  on pellin paksuus.

Levyn paksuuden oletetaan olevan enintään millimetrin luokkaa, jolloin tunkeuma ruoteeseen saadaan kaavasta

$$t_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{ruuvien pituus} - 1\text{mm} \\ h_{ruode} \end{array} \right. \quad (53)$$

Ohuen teräslevyn paksuuden on toteutettava ehto  $t_t \leq 0,5d$ , mikä käytännössä aina toteutuu, kun käytetään kateruuveja. (RIL 205-1-2009, 108–109, 119–121.)

Ruoteen kohdalla ruuvien suurin etäisyys saadaan kaavasta

$$s_{pelti} = \frac{R_d}{F_{p,d}} k k. \quad (54)$$

Ruuvitiheys neliömetrille saadaan lopulta kaavasta

$$\rho_{pelti} = \frac{1}{s_{pelti} a}. \quad (55)$$

On huomattava, että tässä tarkastellaan ruuvitiheyttä vain nurjahduksen kannalta. Kiinnitys tulee tarkistaa erikseen tuulen imukuormitukselle ja valmistajan määrittämälle minimikiinnitykselle. (RIL 248-2013, 51.)

### 5.7.6 Nurjahdustuennan jousijäykkyys

Ruoteiden toiminta nurjahdustukina tulee tarkistaa jousijäykkyyden kautta. Nurjahdustuen vaadittu jousijäykkyys saadaan kaavasta

$$C_{vaad} = 2 \left( 1 + \cos \left( \frac{\pi a_k}{\left( \frac{B}{2 \cos \alpha} - b_{ruode} \right)} \right) \right) \frac{N_d}{a_k} \frac{N_{y,p}}{N_y}, \quad (57)$$

jossa huomioidaan jäykisteyksiköiden määrä (RIL 205-1-2009, 162). Peräkkäiset jäykistepakat muodostavat yhden jäykisteyksikön. Yhdelle esiporaamattomalle naulalle saadaan siirtymäkertoimeksi

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} d^{0,8}}{30}, \quad (58)$$

missä

- $\rho_m$  on sahatavaraliitoksen kevyimmän puun keskitiheys

(RIL 205-1-2009, 89). Liitoksen siirtymäkertoimessa huomioidaan käytettävä naulamäärä ja ruodejako kaavassa

$$K_{ser,l} = n_j K_{ser} \frac{a_k}{a}, \quad (59)$$

missä

- $n_j$  on jatkoksen vaatima naulamäärä.

Ruodejatkoksia arvioidaan olevan noin 3600mm välein, joka vastaa kolmea ristikkoväliä ristikkojaolla 1200mm tai neljää ristikkoväliä ristikkojaolla 900mm. Liitoksia tulee kaksi jatkoksien kohdalle ja jäykisteyksikön reunaan. Tällöin tuennan jousijäykkyys saadaan kaavasta

$$C = \frac{K_{ser,l}}{2 \left( 1 + \frac{\frac{1}{2}(L - N_{y,kk})}{3600 \left( \frac{N_y}{N_{y,p}} - 1 \right)} \right)}. \quad (60)$$

Ehtona jousijäykkyydelle on  $C \geq C_{vaad}$ . (Puuinfo 2010, 124–125.)

## 6 LOPPUSANAT

Opinnäytetyön liitteessä 1 on esitettyä esimerkkilaskelma, joka antaa kuormitustiedot suunnittelua varten ja tarvittavat naulaukset, ruuvaukset ja lisäruoteet. Ohjelma myös ilmoittaa mahdollisista virhearvoista.

Toistaiseksi ohjelman toiminta rajoittuu symmetrisiin harjaristikoihin, mutta laskelmapohjasta on varsin helppo tehdä erilaiset versiot tilannekohtaisesti. Epäsymmetrisissä tapauksissa laskenta vain suoritettaisiin lapekohtaisesti. Huopakatteen laskenta, varsinkin aluslevytyksellä, tuskin tuottaa erityisempiä hankaluuksia, mutta tiilikate taas voi olla erittäin haasteellinen. On kuitenkin erittäin yleistä, että suurten jännevälien rakennuksissa käytetään peltikatetta.

Tulevaisuudessa jäykistysuunnitteluun integroidaan myös rungon jäykistykseen laskenta. Tällöin rungon yläpään jäykistys eli alapaarretason jäykistys tulee huomioida myös sivuseinissä. Jäykistysratkaisu todennäköisesti pystyy ottamaan vastaan myös päätyseinän alapaarretason tuulikuorma, mikä keventäisi alapaarrejäykisteen kuormituksia huomattavasti. Lisäksi seinillä vaakakuormat muutetaan jäykistyksellä pystykuormiksi ja seinät ankkuroidaan perustuksiin.

Rakennuksen jäykistykseen, etenkin katon kokonaisjäykistykseen, löytyy erittäin vähän lähdeteoksia, joihin pohjata jäykistyslaskelmia. Saatavilla olevia ohjeita on kuitenkin pyritty noudattamaan mahdollisimman tarkasti.

## LÄHTEET

Pohri Oy. Ei päiväystä. Kattoristikon mittojen ja kuormien määrittäminen. Evijärvi: Pohri Oy. [Viitattu: 10.3.2015.] Saatavana: <http://www.pohri.fi/10>

Pohri Oy. Ei päiväystä. Kattoristikot ja precut-paketit. Evijärvi: Pohri Oy. [Viitattu: 5.3.2015.] Saatavana: <http://www.pohri.fi>

Puuinfo Oy. 15.7.2010. EC5 Sovelluslaskelmat - Hallirakennus. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Puuinfo Oy. [Viitattu 27.2.2015]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/eurokoodit/ec5-sovelluslaskelmat-hallirakennus>

Puuinfo Oy. 10.9.2013. Eurokoodi 5 Lyhennetty ohje - Puurakenteiden suunnittelu. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Puuinfo Oy. [Viitattu 10.3.2015]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu>

Puuinfo Oy. 17.4.2014. Levyjäykisteen mitoitusohjelma. [Verkojulkaisu]. Helsinki: Puuinfo Oy. [Viitattu 16.3.2015]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/mitoitusohjelmat/levyj%C3%A4ykisteen-mitoitusohjelma>

RIL 201-1-2011. 2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-1-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 248-2013. 2013. NR-kattorakenteen jäykistykseen suunnittelu ja toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 85-10495. 1993. Puuristikot ja -kehät. Helsinki: Rakennustieto.

SFS-EN 1995-1-1 + A1 + AC. 2008. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto.



## LIITTEET

Liite 1. Laskentapohjan esimerkkilaskelma

**LIITE 1. Laskentapohjan esimerkkilaskelma****Paikkakunta**

Seinäjoki

**Mittatiedot**

H	7900	mm	Rakennuksen harjakorkeus
B	18000	mm	Rakennuksen leveys
L	27000	mm	Rakennuksen pituus
R	700	mm	Päätyräystäs
r	800	mm	Sivuräystäs
h	4000	mm	Seinäkorkeus
h <sub>r</sub>	3400	mm	Ristikon korkeus
tk	700	mm	Tukikorkeus
kk	900	mm	Ristikkojako
b <sub>r</sub>	48	mm	Ristikon paksuus
b <sub>j</sub>	48	mm	Jäykisteiden paksuus
b <sub>a</sub>	50	mm	Vapaa väli aluskatteelle
kalt	16,70	°	Ristikon kaltevuus
kalt	0,291	rad	- radiaaneita
h <sub>p</sub>	500	mm	Sokkelikorkeus maanpinnasta
PELTI			▼
LÄMMIN			▼
MAASTOLUOKKA II			▼

**Ristikon kuormat**

q <sub>k,lumi</sub>	2,500	kN/m <sup>2</sup>	Lumikuorma
g <sub>k,yp</sub>	0,150	kN/m <sup>2</sup>	Omapaino yläpaarteelle
g <sub>k,ap</sub>	0,300	kN/m <sup>2</sup>	Omapaino alapaarteelle
q <sub>po</sub>	0,608	kN/m <sup>2</sup>	Tuulen nopeuspaine

**RISTIKOT SUUNNITTELUUN!!! Suunnitelmasta:**

$g_{k,r}$	202	kg	Ristikön massa
$N_{d,max}$	53,7	kN	Yläpaarteen puristusvoima
	0,85		- pienennyskerroin
$a_k$	550	mm	Ruodeväli
$k_c$	1,00		Käyttöaste nurjahdukselle

**Tuulikuorma sivuseinää vasten**

$\gamma_D$	1,0		Ei rinteitä lähellä!
$c_s c_d$	1,0		Huom! $H < 15m$
$\lambda$	0,585		
$d/b$	0,67		
$\lambda \leq 1$	1,430		
$\lambda = 3$	1,541		
$\lambda = 10$	1,669		
$c_f$	1,430		
$q_{wk}$	0,870	$kN/m^2$	
$q_{k,sivu}$	4,70	$kN/m^2$	Viivakuorma yläjuoksulle

**Lisävaakavoima, lyhyempi suunta**

$g_k$	0,602	$kN/m^2$	
$\mu$	0,800		Yleensä 0,8
$q_k$	2,291	$kN/m^2$	
$g_{HB,k}$	0,08	$kN/m$	omapaino
$q_{HB,k}$	0,28	$kN/m$	lumikuorma

**Tuulikuorma päätyä vasten**

$\gamma_D$	1,0	
$C_s C_d$	1,0	
$\lambda$	0,614	
$d/b$	1,50	
$\lambda \leq 1$	1,112	
$\lambda = 3$	1,200	
$\lambda = 10$	1,296	
$C_f$	1,112	
$C_{fr}$	0,04	
$A_{fr}$	533,2	m <sup>2</sup>
$A_{ref}$	117,9	m <sup>2</sup>
$A_{yp}$	18,5	m <sup>2</sup>
$A_{ap}$	54,5	m <sup>2</sup>
$q_{t,k,y}$	1,248	kN/m yläpaarretaso
$q_{t,k,a}$	1,713	kN/m alapaarretaso

**Lisävaakavoima, pidempi suunta**

$g_{HL,k}$	0,069	kN/m omapaino
$q_{HL,k}$	0,264	kN/m lumikuorma

**Sisäinen jäykistyskuorma**

$N_d$	45,65	kN Keskimääräinen puristusvoima
$n$	31,00	kpl Jäykistettävät ristikot
$l$	9380	mm Yläpaarrejäykisteen mitta
$k_l$	1,000	
$q_d$	3,017	kN/m Jäykistyskuorma

**Jäykistyskuormat, yläpaarre**

$N_y$	2	kpl	Yläpaarrejäykisteet
$N_{y,p}$	1	kpl	Peräkkäiset päädyssä $\leq \frac{1}{2}N_y$
$q_d/N$	1,51	kN/m	jäykistys
$g_{HL,k}/N$	0,04	kN/m	omapaino, lisävaakavoima
$q_{HL,k}/N$	0,14	kN/m	lumi, lisävaakavoima
$q_{t,k,y}/N$	0,63	kN/m	tuuli, yläpaarretaso

**Jäykistyskuormat, alapaarre**

$N_{a,p}$	1	kpl	Peräkkäiset päädyssä $\geq N_{y,p}$
$q_{t,k,a}/N$	1,72	kN/m	tuuli, alapaarretaso

**Tukivoimat, yläpaarrejäykistys**

$T_{1,y}$	2,656	kN	jäykistys
	0,070	kN	omapaino, lisävaakavoima
	0,246	kN	lumi, lisävaakavoima
	1,108	kN	tuuli
$T_{2,y}$	8,852	kN	jäykistys
	0,235	kN	omapaino, lisävaakavoima
	0,821	kN	lumi, lisävaakavoima
	3,693	kN	tuuli
$T_{3,y}$	5,311	kN	jäykistys
	0,141	kN	omapaino, lisävaakavoima
	0,492	kN	lumi, lisävaakavoima
	2,216	kN	tuuli

**Pukkien mitat ja tuenta**

<b>P1</b>			
b	804	mm	
h <sub>1</sub>	553	mm	
T <sub>1,p</sub>	0,08	kN	omapaino, lisävaakavoima
	0,25	kN	lumi, lisävaakavoima
	1,11	kN	tuuli
T <sub>1,t</sub>	0,06	kN	omapaino, lisävaakavoima
	0,18	kN	lumi, lisävaakavoima
	0,77	kN	tuuli
<b>P2 (tuplapukki)</b>			
b	804	m	
h <sub>2</sub>	1885	m	omapaino, lisävaakavoima
T <sub>2,p</sub>	0,24	kN	omapaino, lisävaakavoima
	0,83	kN	lumi, lisävaakavoima
	3,70	kN	tuuli
T <sub>2,t</sub>	0,57	kN	omapaino, lisävaakavoima
	1,95	kN	lumi, lisävaakavoima
	8,68	kN	tuuli
<b>P3 (tuplapukki)</b>			
b	804	m	
h <sub>3</sub>	3283	m	
T <sub>3,p</sub>	0,15	kN	omapaino, lisävaakavoima
	0,50	kN	lumi, lisävaakavoima
	2,22	kN	tuuli
T <sub>3,t</sub>	0,62	kN	omapaino, lisävaakavoima
	2,05	kN	lumi, lisävaakavoima
	9,07	kN	tuuli

**Tukivoimat, alapaarrejäkistys**

$T_a$	0,395 kN	omapaino, lisävaakavoima
	1,330 kN	lumi, lisävaakavoima
	5,920 kN	tuuli, yläpaarretaso
	15,480 kN	tuuli, alapaarretaso
<b>Sivuseinälle yhteensä:</b>		
	0,79 kN	omapaino, lisävaakavoima
	2,66 kN	lumi, lisävaakavoima
	11,84 kN	tuuli, yläpaarretaso
	15,48 kN	tuuli, alapaarretaso

**Tuuletusriman kiinnitys**

$h_{rima}$	22 mm	Riman paksuus
$b_{rima}$	50 mm	Riman leveys
$C_{rima}$	C18	Riman lujuusluokka
$C_{yp}$	C30	Yläpaarteen lujuusluokka
$F_{p,d,max}$	0,913 kN	
$d_{max}$	3,1 mm	Riman kannalta
$d_{max}$	3,4 mm	Ristikon kannalta
2,8x75 konenaula		
$d$	2,8 mm	
$L$	75 mm	
$t_1$	22 mm	
$t_2$	53 mm	
$k_p$	0,956	
$k_t$	1,000	
$k_e$	0,982	
$R_k$	690,8 N	
$R_d$	370,7 N	
$s_{rima}$	223 mm	Suurin naulaväli

### Ruoteen kiinnitys + lisäruoteet

$h_{\text{ruode}}$	22 mm	Ruoteen paksuus
$b_{\text{ruode}}$	100 mm	Ruoteen leveys
$a$	300 mm	Käytettävä ruodejako $< a_k$
$C_{\text{ruode}}$	C18	Ruoteen lujuusluokka
$F_{p,d}$	0,498 kN	Oltava $\leq F_{p,d,\text{max}}$
$F_{np,d}$	0,575 kN	(+ $q_{H,d}$ )
$d_{\text{max}}$	3,1 mm	Ruoteen kannalta
$d_{\text{max}}$	3,5 mm	Riman kannalta
2,8x75 konenaula		
$d$	2,8 mm	
$L$	75 mm	
$t_1$	22 mm	
$t_2$	53 mm	
$k_p$	0,956	
$k_t$	1,000	
$k_e$	0,982	
$R_k$	690,8 N	
$R_d$	370,7 N	
$\sigma_{t/c,0,d}$	0,261 N/mm <sup>2</sup>	
$\lambda_{\text{rel},y}$	2,471	
$k_y$	3,769	
$k_{c,y}$	0,151	
$f_{c,0,d}$	10,286 N/mm <sup>2</sup>	
$N_{c,d}$	3,42 kN	
$k_{h,t}$	1,084	
$f_{t,0,d}$	6,817 N/mm <sup>2</sup>	
$k_{h,m}$	1,300	
$f_{m,d}$	13,371 N/mm <sup>2</sup>	
$p_d$	0,914 kN/m	
$\sigma_{m,c,d}$	7,312 N/mm <sup>2</sup>	3-aukkoinen, puristus
$\sigma_{m,t,d}$	11,470 N/mm <sup>2</sup>	2-aukkoinen, veto
	0,715	Puristus, oltava $< 1$
	0,896	Veto, oltava $< 1$



$n_{\max}$	6 kpl	Suurin naulamäärä
$n$	2 kpl	Tarvittu naulamäärä
$n_j$	2 kpl	Jatkoksen naulamäärä
$e_{\min}$	17 mm	Jatkoslimitys riman yli $\geq$
$n_{r,1}$	2 kpl	Lisäruoteet sivuseinillä
$n_{r,2}$	4 kpl	Lisäruoteet ¼-pisteissä
$n_{r,3}$	4 kpl	Lisäruoteet harjalla

### Nurjahdustuennan jousijäykkyys

$C_{\text{vaad}}$	165 N/mm	Vaadittu jousijäykkyys
$K_{\text{ser}}$	563 N/mm	Naulan siirtymäkerroin
$K_{\text{ser},l}$	2063 N/mm	Liitoksen siirtymäkerroin
<b>Oletus: Ruodejatkos 3600mm välein</b>		
$C$	206 N/mm	Tuennan jäykkyys

### Pellin kiinnitys S-nurjahdukselle

$F_{p,d}/kk$	0,553 kN/m	
$d$	4,8 mm	Kateruuvi 4,8mm
$d_{\text{ef}}$	3,36 mm	
$L$	25 mm	Yleensä 25mm tai 28mm
$t_t$	1 mm	Yleensä < 1mm
$t_2$	22 mm	
$k_p$	0,956	
$k_s$	0,661	Ohut teräslevy
$R_k$	941,8 N	
$R_d$	355,6 N	
$s_{\text{pelti}}$	640 mm	Suurin liitinväli
$\rho_{\text{pelti}}$	5,3 r/m <sup>2</sup>	Ruuvia per neliö
<b>HUOM! Tarkistus tuulen imukuormalle erikseen!</b>		

**LASKELMAT OK!**